

# Vorläufige Dokumentation Abluftanlage für Klassenräume

Thomas Klimach und Frank Helleis

10. November 2020

## 1 Vorwort

Liebe Eltern, Schüler\*innen, Lehrer\*innen und andere Interessierte,

besondere Zeiten erfordern besonderes Handeln. Wir vom Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz haben uns lange überlegt, ob und wie wir im Rahmen unserer Möglichkeiten zur Erleichterung der Situation und der Bewältigung der besonderen Herausforderungen beitragen können.

Aerosole sind ein Schwerpunkt unserer wissenschaftlichen Arbeit, und so ist es nicht verwunderlich, dass wir uns seit Monaten mit der Effizienz von Masken aller Art und der Ausbreitung von Aerosolen in geschlossenen Räumen beschäftigen, was uns mehr oder minder direkt zu Forschungsprojekten im Bereich Schule führt.

Über unser rein wissenschaftliches Interesse hinaus sahen wir aber auch konkreten Handlungsbedarf, nicht nur, weil auch wir teilweise Kinder im Schulalter haben, sondern auch weil wir als öffentlich finanzierte Einrichtung ein großes Interesse am Gemeinwohl haben.

Wir haben einen einfachen und pragmatischen Vorschlag einer low-cost Abluftanlage zum Selbstbau entwickelt, die die Raumluftthygiene nachhaltig verbessern kann. Besonders für die große Anzahl schwierig zu lüftender Klassenräume sehen wir dies derzeit als effektive und nachhaltige Lösung an.

Wir möchten betonen, dass dieses Dokument einen vorläufigen Charakter hat und ggf. nach und nach ergänzt wird. Dies gilt auch für die Interpretation der in diesem Dokument präsentierten Messdaten und die Angaben zu Stücklisten und die Baubeschreibung. Uns erreichen täglich Anfragen sowie Angebote, das Projekt zu unterstützen. Falls beispielsweise Bauteile wie Verteilerstücke in größeren Mengen verfügbar wären, werden wir diese Information aktualisieren.

Abschließend möchten wir betonen, dass unsere Anlage nicht das konsequente Einhalten von Sicherheitsmaßnahmen wie das Tragen von Masken ersetzt. Sie kann sie vielmehr ergänzen, um so das Risiko einer Infektion mit dem Corona-Virus während des Unterrichts zu verringern.

## 2 Haftungsausschluss und Nutzungsbedingungen

Die Inhalte dieses Dokuments wurden nach eigenüblicher Sorgfalt erstellt. Wir übernehmen jedoch keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der bereitgestellten Inhalte. Es wird insbesondere keine Gewähr dafür übernommen, dass die hier beschriebene Abluftanlage die dargestellten Funktionen erfüllt und sich für die dargestellte bzw. beabsichtigte Verwendung eignet. Die Nutzung der Inhalte erfolgt auf eigene Gefahr des Nutzers. Mit der Zusendung dieses Dokumentes und dessen Verwendung kommt keinerlei Vertragsverhältnis oder sonstige Rechtsbeziehung zustande.

Die Inhalte dieses Dokuments werden unter der Creative Commons Lizenz CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de>) lizenziert. Als Quelle ist das Max-Planck-Institut für Chemie anzugeben.

## 3 Funktion

Die von uns entwickelte Abluftanlage nimmt ausgeatmete Luft, die möglicherweise Viren oder Bakterien enthält, gezielt mit Hilfe von Abzugshauben aus der direkten Umgebung von Personen auf, die an Tischen sitzen. Die Abluft gelangt über Verbindungsrohre in ein Zentralrohr und wird mit Hilfe eines Ventilators durch ein gekipptes Fenster nach draußen geführt.

Die an einem warmen Körper aufsteigende Luft unterstützt die Aufnahme und bringt diese zusammen mit der ausgeatmeten Luft innerhalb von etwa zehn Sekunden direkt in die Abzugshaube.

Die Zuluft kann wie beim normalen manuellen Lüften durch ein gekipptes Fenster oder eine geöffnete Tür erfolgen. Alternativ kann sie über Filter von draußen zugeführt werden. Der Querschnitt der Zuluftöffnung sollte mindesten dem halben Rohrquerschnitt des Zentralrohres entsprechen. Die Zuluftöffnung sollte sich nicht vertikal über der Abluftöffnung befinden, sondern vorzugsweise erheblich darunter.

Gegenüber dreimaligem Stoßlüften pro Stunde kann die Anlage die Anreicherung von SARS-CoV 2 um bis zu einer Größenordnung und CO<sub>2</sub> um bis zu einem Faktor drei senken. Gleichzeitig kann sie die Energieverluste durch das Lüften deutlich reduzieren.

## 4 Dimensionierung

Zur Ermittlung der notwendigen Luftflüsse schätzen wir das Volumen der vom Körper erwärmten Luft in der Grenzschicht zwischen einer Person und der Luft wie folgt ab: ca. 5 cm (Dicke der Grenzschicht) x 80 cm (Umfang der Person). Mit einer Vertikalgeschwindigkeit von ca. 10 cm/s (gemessen) resultiert daraus ein Fluss von 4l/s. Bei zwei an einem Tisch sitzenden Personen benötigt man einen Fluss von ca. 8l/s (entspricht 29 m<sup>3</sup>/h) Durchsatz durch unsere Abzugshaube. Für einen Schulraum mit 26 Schülern und einem Lehrer ergeben sich in der Summe: 14 (Tische) x 29 m<sup>3</sup>/h = 406 m<sup>3</sup>/h.

Dies entspricht beim Volumen eines typischen Schulraumes von 200 m<sup>3</sup> einer Raumluftwechselrate von ca. 406 m<sup>3</sup>/h / 200 m<sup>3</sup> = 2/h, äquivalent zu einer optimalen stündlichen Stoßlüftung.

Die Anlage sollte offen unter einer Decke montierbar sein, keine Gewichtsprobleme hinsichtlich der Deckentragfähigkeit verursachen, geräuscharm sein und nach Möglichkeit auch energiesparend arbeiten. Daher sind Ventilatoren mit kleiner Leistung (20 W), relativ großem Durchmesser, geringer Drehzahl und geringem Differenzdruck (4 Pa) sinnvoll.

Es errechnet sich ein Innendurchmesser für die Verbindungsrohre von ca. 70 mm bei einer maximalen Länge von 3 m. Um für zukünftige Anwendungen wie z.B. die Kombination mit Umluftfiltern oder Wärmerückgewinnung genügend Reserven zu haben, nehmen wir die nächst größere DN90.

Der Innendurchmesser des Hauptrohres mit der durchschnittlichen Länge von 8 m ergibt sich aus der Anforderung eines Druckabfalls von höchstens 1 Pa/4 m aufgrund des pneumatischen Abgleichs zu mindestens 250 mm. Wir haben aus praktischen Gründen einen Durchmesser von 315 mm gewählt, da diese Größe direkt kompatibel zu gängigen Bodenventilatoren ist. Zudem ist der damit verbundene Umfang von 1 m auch passend zu 1 m breiter Rollenware diverser Materialien.

Zum pneumatischen Abgleich werden bei kürzeren Verbindungsrohren Lochscheiben aus Pappe o.ä. in die Rohre geklemmt. Für die Dimensionierung der Löcher dieser Scheiben planen wir eine Berechnungsmaske zu veröffentlichen, so dass man die passende Scheibe aus der jeweiligen Rohrleitungslänge und dem längsten Rohr berechnen kann. Messungen an den letzten Testinstallationen haben ohne den Abgleich bei Längenunterschieden von ca. 2,3 m eine Abweichung der Flüsse von knapp 20 % ergeben.

## 5 Messungen

### 5.1 Testaufbau

- Der Probeaufbau bestand aus einem Zentralrohr und 9 Absaugrohren, die mittig über den Kanten der Schultische endeten. Die Tische waren in einem regelmäßigen Rechteckmuster angeordnet. Die Höhe der Absaugung war in etwa 2 m Höhe, also ca. 70 cm oberhalb eines sitzenden Schülers.
- Aerosol- und CO<sub>2</sub>-Messungen wurden am zentralen Tisch der Anordnung durchgeführt. Die Absaugung erfolgte hier wahlweise mit einer einfachen Abzugshaube (ca. 60 cm Durchmesser) oder ohne.
- Die Frischluft wurde über ein spaltoffenes (ca. 5 cm) Unterlicht von außen in den Klassenraum zugeführt.
- Die Abwärme zweier Schüler wurde pro Tisch mit einem 100W Rotlicht simuliert, das auf einem Stuhl innerhalb eines Pappkartons (Testkörper) installiert war.
- Für die Messungen wurden ein Ultraschallzerstäuber (befüllt mit Betriebsmittel für mit Nebelmaschinen) und eine CO<sub>2</sub>-Quelle auf der etwaigen Kopfhöhe eines potenziell infektiösen Schülers installiert.
- Die Probenluft wurde durch einen Schlauch vom Ende eines beweglichen Arms zu einem optischen Partikelzähler (OPC, Grimm 1.108, dp > 300 nm) und einem optischen CO<sub>2</sub>-Messgerät (Gascard NH, Edinburgh

Instruments) geführt. Dadurch konnte an verschiedenen Positionen relativ zur Quelle und zur Absaugung die Aerosol- und die CO<sub>2</sub>-Konzentration sehr einfach gemessen werden.

- Die Strömungsgeschwindigkeit in den Rohren und die Aufwärtsbewegung in der Konvektionszone des Testkörpers wurde mit einem TSI-Heißdraht Anemometer gemessen.

## 5.2 Messungen und Ergebnisse

- Die durch den Testkörper generierte Vertikalgeschwindigkeit der Luft beträgt größenordnungsmäßig ca. 10 cm/s, was im Vorfeld zur Dimensionierung der Anlage genutzt wurde (s.o.).
- Die Strömungsgeschwindigkeiten in den 6 langen Ansaugrohren betragen zwischen ca. 1,6 und 2 m/s. Die Unterschiede waren bedingt durch die Qualität der Fertigung der Folienrohre, wobei faltigere Rohre geringere Flüsse aufwiesen. Die Geschwindigkeit in den 3 kurzen Rohren war konsistent bei ca. 2,5m/s (Fluss ca. 9 l/s). Für die Anforderungen der Testmessungen war ein besserer Abgleich nicht nötig.
- Mit Hilfe der CO<sub>2</sub>-Messung im Zentralrohr vor dem Ventilator wurden die Raumlftwechselraten bei verschiedenen Ventilator Drehzahlen und Fensterstellungen und geschlossener Tür gemessen. Ohne Ventilator erhalten wir bei geschlossenen Fenstern ca. 0,15/h, bei einem gekippten Unterlicht ca. 0,3/h, bei Ventilator auf Stufe 2 ca. 1,5/h, auf Stufe 3 ca. 2/h. Die folgenden Messungen wurden durchweg mit dem Ventilator auf Stufe 2, also mit einer einer nominellen Raumlftwechselrate von 1,5/h gemessen, siehe Bild 1.

Die Messungen erfolgten verteilt über einen Tag unter verschiedenen experimentellen Bedingungen. Es wurde abwechselnd die Aerosolkonzentration in der abgesaugten Luft (im Absaugrohr) und in der Raumlft (zwischen zwei Absaugrohren) bestimmt. Die Sammeleffizienz der Absaugung lässt durch den Vergleich der beiden Messungen bestimmen. Je weiter die Messwerte auseinander liegen, desto gezielter ist die Absaugung. Wenn sich die Konzentration in der Raumlft (Hintergrund) nicht mehr ändert, ist ein stabiler Zustand erreicht. Aus dem Verhältnis der Konzentration lässt sich die Effizienz der Anlage bestimmen.

Die Rohdaten der gemessenen Gesamtkonzentrationen sind in Bild 2 dargestellt.

Die Messung erfolgte in 3 Blöcken

1. Aerosol-Messung ohne Abzugshaube bis die Konzentration in der Raumlft stabil blieb. (Aerosolerzeugung von ca. 10:15 bis 11:35 h)
2. Messung der Aerosol-Lebensdauer (also die Zeit, bis eine Aerosol verdunstet ist) durch den exponentionellen Abfall der Raumlft-Konzentration ohne Aerosol-Erzeugung (ca 12:00 bis 13:30 h)
3. Aerosol-Messung (Aerosolerzeugung von ca. 13:50 bis 16:25 h; zwischen 14:20 und 14:50 h ging die Emissionsrate wegen Leerlaufen des Aerosol-Generators zurück und wurde durch Nachfüllen behoben.)

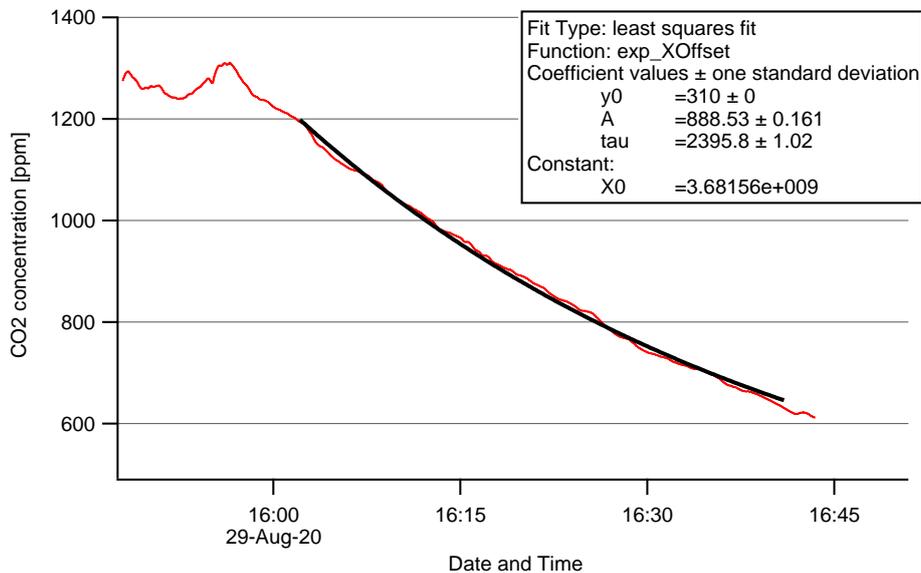


Abbildung 1: Messung der Raumlftwechselrate mit CO<sub>2</sub>, der exponentielle Fit ergibt 3600 s/h / 2423 s = ca. 1.5/h.

### 5.2.1 Lebensdauer

Die durch Verdampfung/Sedimentation bedingte Lebensdauer der Aerosol-Partikel ergibt sich aus dem exponentiellen Abfall zu 3600 s/h / 1478 s = 2,5/h. Korrigiert um die Raumlftwechselrate von 1,5/h bleibt ca 1/h, siehe Bild 3.

### 5.2.2 Effizienz ohne Haube

Im ersten Messblock ohne Abzugshaube (Fig. 4) wurde in verschiedenen Abstnden zur Absaugung gemessen

1. in 15 cm Abstand ( 10:28 bis 10:31 h)
2. in 30 cm Abstand (11:05 bis 11:15 h)
3. in 100 cm Abstand (ab 11:30 h)
4. ohne Abstand (restliche Zeit)

Es lsst sich Folgendes beobachten:

- Die unterschiedlichen Abstnde des Probeneinlasses zum Zentrum des Absaugrohres ergeben keine signifikanten Unterschiede in der Raumlft-Konzentration (Hintergrund). Die Aerosolkonzentration ist also bereits im Abstand von 10 cm von der Quellen bzw. der aufsteigenden Abluftfahne auf den Hintergrundwert abgesunken. Es ist keine merkliche Aufweitung der Abluftfahne auf dem Weg zur Absaugung erkennbar.

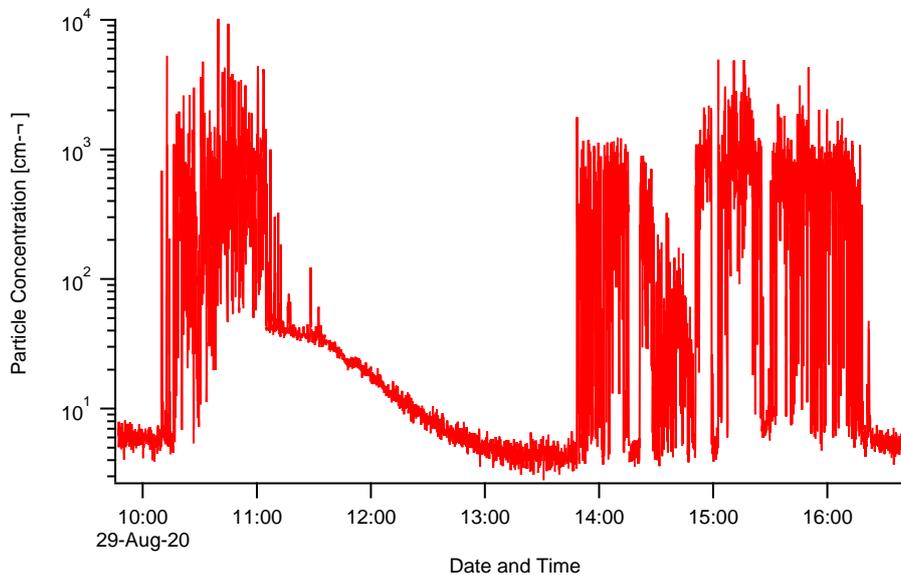


Abbildung 2: Gesamtkonzentration der durch den OPC gemessenen Partikel

- Beim Beprobieren des Zentrums der Absaugöffnung werden im Maximum ca. 1.000 Aerosolpartikel/cm<sup>3</sup> gemessen. Geht man davon aus, dass die detektierten Maximalwerte der Emissionskonzentration des Generators entspricht (was sicher eher eine Untergrenze ist), ergibt sich mit einem Volumenfluss im Absaugrohr von ca. 9 l/s eine Emissionsrate von 1.000 / cm<sup>3</sup> \* 9.000 cm<sup>3</sup>/s = 0,9\*1e7 Partikeln/s. Mit einer Verlustrate (Lebensdauer) der Partikel von 2,5/h = 7\*1e-4/s errechnet sich eine theoretische stabile Raumluftkonzentration von ca. 65 Partikeln/ cm<sup>3</sup>. Gemessen wurden am Ende des ersten Messblocks um 11:30 aber nur eine stabile Raumluftkonzentration von ca. 30 Partikeln/cm<sup>3</sup>. Was auf eine Sammeleffizienz des Rohres von mindestens ca. 1 - 30 / 65 = 54% schließen lässt, siehe Bild 4. Von den Rohwerten wurde jeweils der Untergrund von 6 Partikeln/cm<sup>3</sup> vor der Aerosolerzeugung (10:00 h) abgezogen.

### 5.2.3 Effizienz mit Haube

Die Aerosol-Konzentration der abgeführten Luft wurde nahe am Zentrum der Abzugshaube gemessen (siehe Bild 5). Während die Raumluftkonzentration zu bestimmten Zeiten in 120 cm Abstand zur Absaugöffnung gemessen wurde, um wieder den Anstieg durch nicht abgesaugtes Aerosol zu untersuchen.

- 14:09 h bis 15:03 h
- 15:25 h bis 15:30 h
- und ab 16:18 h

Um den Einfluss der Wärmeabgabe des Testkörpers auf die Vertikalkonvektion zu testen, wurde um 15:40 die Heizung des Testkörpers ausgeschaltet, d.h.

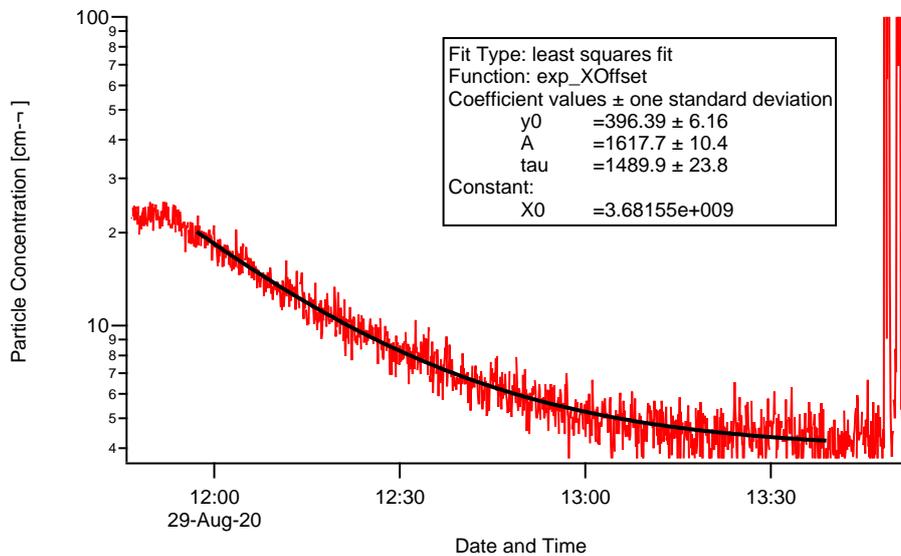


Abbildung 3: Gesamtkonzentration der durch den OPC gemessenen Partikel, Aerosolgenerator abgeschaltet

der Vertikaltransport wurde nur noch durch die Abwärme des Aerosolgenerators (ca. 20W) unterstützt.

Es lässt sich Folgendes beobachten:

- Befindet sich der Probeneinlass im Zentrum des Endes des Absaugschlauches, werden in Phasen geringer Variabilität maximal ca. 600 Partikel/cm<sup>3</sup> gemessen. Hier würde man mit nicht selektiver Absaugung eine steady-state Konzentration von ca. 40 Partikeln/cm<sup>3</sup> im Hintergrund erwarten. Gemessen wurden im Hintergrund im Mittel aber nur ca. 7/cm<sup>3</sup>, was sich um ca. 1/cm<sup>3</sup> vom gemessenen Untergrund um 10:00 h unterscheidet. Die Sammeleffizienz des Rohres ergäbe sich dann zu  $1 - 1/40 = 97\%$ .
- Die vergleichsweise geringe Variabilität der Partikelkonzentration z.B. um ca. 14:55 h legt die Vermutung nahe, dass die Sammeleffizienz unter günstigen Bedingungen 100% erreicht.
- Man sieht deutlich, dass die Variabilität der Partikelkonzentration nach Abschalten der Heizung des Testkörpers um 15:40 h erheblich zunimmt. Man kann also zunächst zumindest qualitativ sagen, dass die durch den warmen Körper erzeugte Konvektion die quantitative Absaugung der Partikel auch bei Störungen der Luftbewegung z.B. durch Winddruck auf das spaltöffnen Unterlicht im Raum erheblich unterstützt.

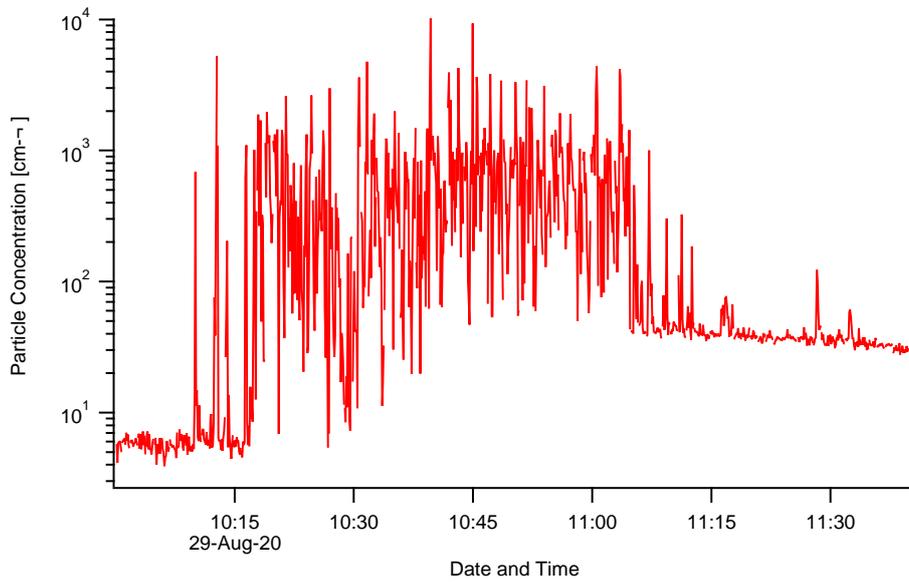


Abbildung 4: Gesamtkonzentration der durch den OPC gemessenen Partikel, ohne Abzugshaube

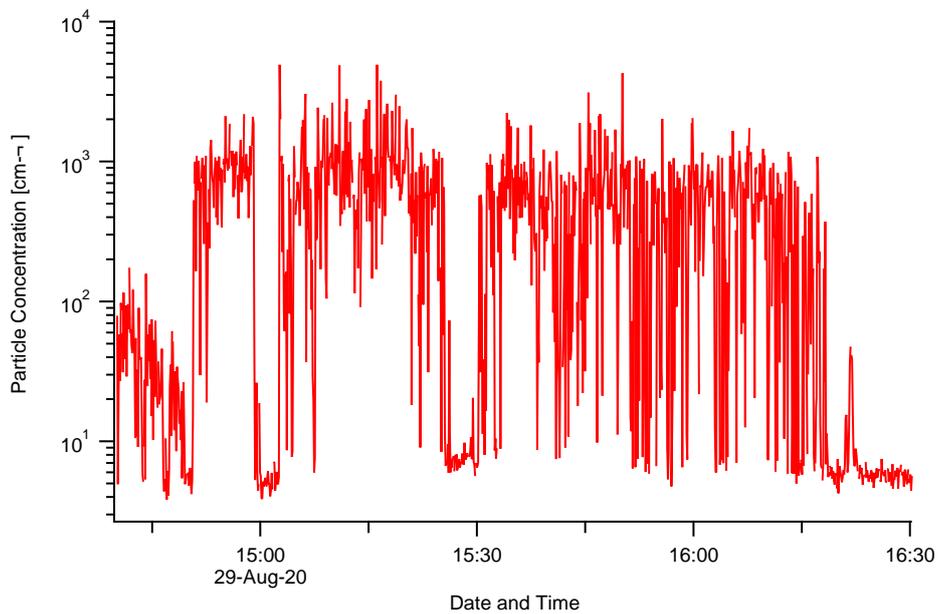


Abbildung 5: Gesamtkonzentration der durch den OPC gemessenen Partikel, mit Abzugshaube

### 5.3 Simulationen

Im Verlauf der Messungen haben wir auch überlegt, inwieweit Heizung und kalte Fensterfront im Winter die Konvektionsdynamik im Klassenraum stören könn-

ten. Deswegen haben wir die Strömungen im Klassenraum simuliert, zunächst in 2D. Die Ergebnisse sind in Bild 6, ohne Schüler, sowie in Bild 7, mit Schüler dargestellt.

Das kleine weiße Rechteck rechts unten im Bild stellt die Heizung dar, das Fenster befindet sich am rechten Bildrand. Im zweiten Bild sind die Umrisse des Schülers im Zentrum mit Rechtecken grob modelliert.

Man sieht, dass das durch die warme Heizung und das kalte Fenster gebildete Konvektionssystem kaum in den Raum hineingreift.

Sitzt ein Schüler in der Nähe von Heizung und Fenster, vereinigen sich die beiden Konvektionszellen, d.h. die Strömungsrichtung im Bereich des Schülers ändert sich praktisch nicht, der Transport der Ausatemluft des Schülers nach oben wird eher unterstützt als abgeschwächt.

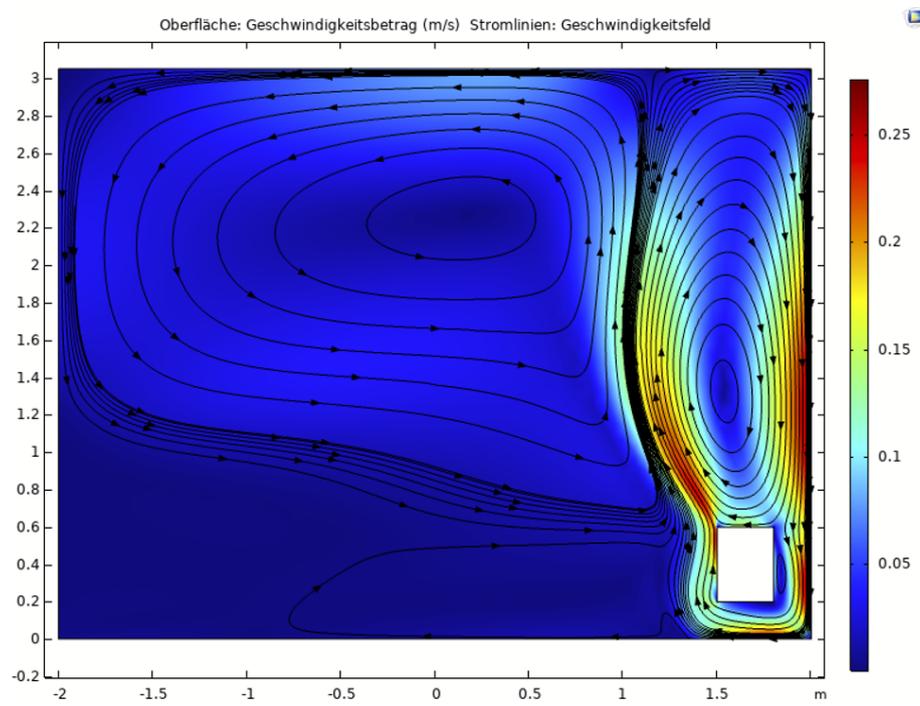


Abbildung 6: Simulation der Raumluftrömung Heizung/Fenster ohne Schüler

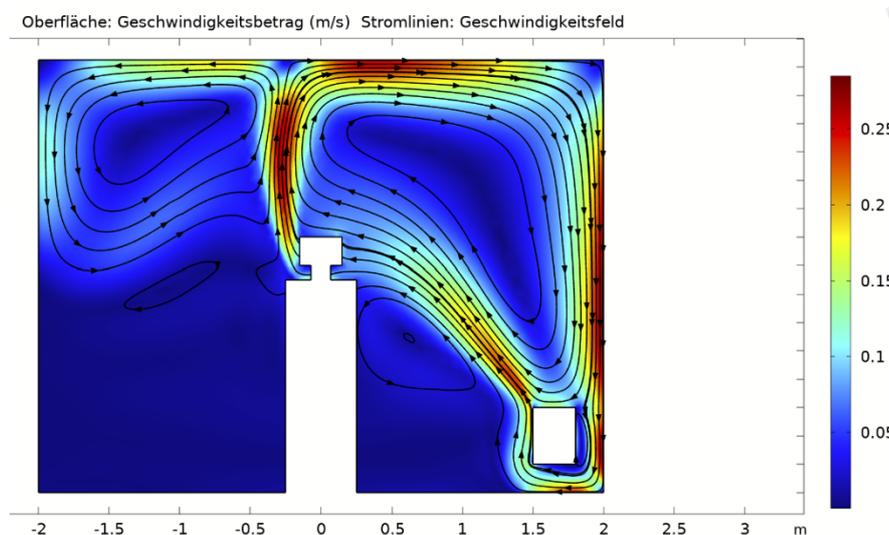


Abbildung 7: Simulation der Raumluftströmung Heizung/Fenster mit Schüler

## 5.4 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der hier präsentierten vorläufigen Messungen legen nahe, dass die vorgeschlagene Anlage das durch infektiöses Aerosol bedingte Ansteckungsrisiko deutlich senken kann (unter günstigsten Bedingungen um 90%) und motivieren uns, ein massentaugliches System zu entwickeln.

## 6 FAQ (Häufig gestellte Fragen)

### 6.1 Wie funktioniert das Abluftsystem für Klassenzimmer, das Sie an der integrierten Gesamtschule in Mainz-Bretzenheim installiert haben?

Die Luft wird von Abzugshauben, die über jedem Tisch installiert sind, aufgenommen, durch kleinere Rohre in ein großes Zentralrohr unter der Decke geleitet und über einen Ventilator an einem kippbaren Fenster nach draußen geblasen. Die Zuluft kann über ein weiteres spaltoffenes Fenster oder, vorzugsweise, sofern die Flure über zu öffnende Fenster verfügen, durch die spaltoffene Tür zugeführt werden.

Eine besondere Eigenschaft der Anlage ist, dass sie die um den warmen menschlichen Körper aufsteigende Strömung (Konvektion) ausnutzt und so die natürlicherweise ausgeatmete Luft innerhalb von etwa zehn Sekunden in das Absaugrohr transportiert, also bevor sie sich turbulent im gesamten Raum verteilt.

### 6.2 Wie teuer und aufwendig ist die Installation?

Die Materialkosten liegen im Moment bei etwa 200 Euro pro Klassenraum. Die Anlagen sind so konstruiert, dass sie von engagierten Lehrern und Eltern und

eventuell auch Schülern aufgebaut werden können. Neben typischen Werkzeugen wie Zange und Schere sind einige spezieller Geräte wie ein LötKolben für die Verbindung von Drähten oder ein Plastiksweißgerät sinnvoll. Mit Routine im Umgang mit den Geräten und den entsprechenden Materialien (siehe Liste), kann eine Anlage von 4-6 Leuten in vier Stunden eingebaut werden. Beim erfolgreichen Versuch die Grundschule Mainz-Marienborn (11 Räume) an einem Wochenende mit Unterstützung der Eltern und Lehrer auszustatten wurden im Mittel pro Raum etwa 30 Mannstunden benötigt. Dabei wurden im Vorraus die Räume schon ausgemessen und die Verteilerboxen in Heimarbeit erstellt.

### **6.3 Wie haben Sie getestet, wie wirksam dieser Low-Tech-Ansatz zur Luftreinigung ist?**

Wir haben Messungen mit Aerosol- und CO<sub>2</sub>-Quellen durchgeführt, die auf einem Sitzplatz in Kopfhöhe installiert wurden und einen infizierten Schüler simulieren. Indem wir den Probeneinlass in- und außerhalb des Abluftsystems positionieren, kann die Anreicherung der Aerosole im Abluftsystem direkt als Verhältnis der beiden Messwerte ermittelt werden. Bringt man den Aerosolgenerator außerhalb des Absaugbereichs der Abzugshaube an, wird das Aerosol nicht selektiv abgesaugt. Dabei sieht man einen entsprechenden Anstieg der Aerosol-Konzentrationen im gesamten Klassenraum. Bei diesen Messungen mit simulierten Schülern wurde eine Reduktion von Aerosolen um gut 90 % gemessen.

### **6.4 Für welche Art und Geometrie von Klassenzimmern wäre solch eine Anlage sinnvoll?**

Das System ist ein Baukasten aus mit einer Schere zuschneidbaren Folienrohrsegmenten und Verteiler- bzw. Verbindungsstücken. Da die Rohrsegmente direkt vor Ort hergestellt werden, gibt es keine Einschränkungen hinsichtlich Art oder Geometrie. Die Verteilung der Schulbänke in einem gleichmäßigen Raster vereinfacht den Aufbau allerdings deutlich. Man benötigt lediglich ein kippbares Fenster und eine Steckdose.

### **6.5 Wie groß ist das Interesse von Schulen und anderen Einrichtungen an dem Nachbau?**

Wir haben seit dem ersten Pressebericht am 30.10.2020 bis heute (10.11.2020) über 2700 Anfragen von Schulleitern, Schulträgern, Privatpersonen und verschiedener Firmen erhalten. Die Anzahl der auszurüstenden Räume geht in die Zehntausende. Das System ist prinzipiell mit Standardlüftungskomponenten darstellbar, würde damit aber viel teurer, schwerer und in der Montage aufwendiger. Zudem sind diese Materialien nicht transparent, wodurch die Montage in der Nähe bzw. unterhalb von Lampen zu Verdunklungen führen könnte. Wir haben am Markt keinen Hersteller gefunden, der Komponenten für extreme Niederdrucksysteme anbietet.

## **6.6 Ist es möglich, die Ergebnisse ihrer Prüfungen einzusehen?**

Die vorläufigen Messergebnisse sind angefügt. (2)

Wir haben derzeit weitere automatisierte CO<sub>2</sub>-Messungen installiert, deren Daten zeitnah bereit gestellt werden sollen.

## **6.7 Stellen Sie eine Bauanleitung für die Lüftungsanlage zur Verfügung?**

Eine Bauanleitung können wir aus rechtlichen Gründen nicht veröffentlichen. In dem hier vorliegenden Dokument haben wir den Aufbau unserer Testanlagen detailliert beschrieben, so dass man sie mit etwas handwerklichem Geschick nachbauen kann.

## **6.8 Erfüllt Ihre Anlage gängige Brandschutzauflagen und Sicherheitsbestimmungen?**

Unsere Anlage wurde im Vorfeld durch Sachverständige des zuständigen Schulträgers in Bezug auf Brandschutz- und allgemeinen Sicherheitsbestimmungen geprüft und akzeptiert. Durch die Art der Konstruktion, die Nutzung vorhandener Fenster und die brandschutztechnisch relativ unbedenklichen bzw. im Klassenraum auch an anderen Stellen verwendeten Materialien (PE, PP) ergaben sich nur geringe bürokratische Hürden. Unsere Anlage wiegt etwa 10 Kilo. Verglichen mit der durchschnittlichen Brandlast von ca. 200 Kilo (Stühle, Kleidung und Unterrichtsmaterialien), die im Brandfall teilweise hochgiftige Gase freisetzen könnten, ist unserer Anlage nahezu vernachlässigbar.

## **6.9 Muss das Fenster in Ihrer Variante dauerhaft gekippt bleiben oder kann es zeitweise geschlossen werden, z.B. nachts wegen Einbruchschutz?**

Die Beseitigung der Aerosole erfolgt kontinuierlich, um die benötigten Leistungen und die Geräuschbelastung niedrig zu halten. Das Fenster behält seine ursprüngliche Funktion und ist lediglich mit einem Anschluss für den Ventilator ausgerüstet, der unabhängig von der Fensterstellung praktisch luftdicht ist. Daher kann und soll das Fenster in der unterrichtsfreien Zeit geschlossen werden, bei Verwendung eines Kontaktschalters stoppt der Ventilator dann sogar automatisch. Eine zusätzliches Einbruchrisiko ist damit nicht gegeben. Alternativen, die viel weniger Aufwand bedeuten und sogar teilweise von Schulträgern und Gebäudewirtschaftlern unterstützt werden, sind fest in ein Fenster eingebaute Ventilatoren. Da sollte man unbedingt nachfragen.

**6.10 Schützt dieses System nur vor indirekten Ansteckungen? Sind zusätzliche Plexiglastrennscheiben zu empfehlen und wie verhält es sich mit einer Mund-Nase-Bedeckung?**

Ja, das System reduziert nur die Ansteckungsgefahr durch die Aerosole. Wenn Schüler die sich auch in der Pause oder privat treffen, an denselben Tischen sitzen, wird man keine Trennscheiben brauchen. Die Risikoreduktion durch Alltagsmasken kommt allerdings noch multiplikativ hinzu, d.h. beides zusammen ist entsprechend besser.

**6.11 Inwiefern ist Ihr Modell für den Masseneinsatz geeignet?**

Das System ist aus unserer Sicht massentauglich für alle Situationen, in denen sich Menschen mehr oder minder an einem Ort aufhalten. Dann haben die Abzugshauben maximale Wirkung. Beispiele sind Schulen, Büros, Restaurants.

**6.12 Mit welcher zusätzlichen Geräuschbelastung ist durch den Ventilator zu rechnen? Ist es möglich, dies in Dezibel-Angaben zu nennen?**

Laut Hersteller erzeugt der Ventilator freiblasend etwa 40 Dezibel, da er sich aber in einem Gehäuse befindet, rechnen wir nur mit 30 Dezibel bei niedrigeren Frequenzen. Wir werden dies aber nochmals messen. Erste Rückmeldungen von betroffenen Lehrern sind positiv und die Lüfter scheinen im normalen Schulalltag nicht besonders aufzufallen.

**6.13 Wird die Raumluft durch das ständige Lüften im Winter nicht besonders trocken?**

Im Gegenteil, weil die Raumluft nominell nur etwa zweimal pro Stunde gewechselt wird, wird ihr im Vergleich zum vorgeschriebenen Stoßlüften alle 20 Minuten entsprechend weniger Wasser entzogen.

**6.14 Inwieweit stören andere Wärmequellen wie Heizung und kalte Fensterfront die thermische Konvektion im Bereich der Schüler?**

Vorläufige Simulationen der Raumluftströmungen haben gezeigt, dass die typischerweise unter den Fenstern angebrachte Heizung im Zusammenspiel mit der kalten Fensterfront eine eigene kleinräumige Konvektionszelle bildet. Diese scheint kaum in den Raum hineinzugreifen und verstärkt die Strömungsrichtung im Bereich der nächstsitzenden Schüler eher als sie abzuschwächen. Dies sollte noch im Experiment verifiziert werden. Intuitiv ist es aber nachvollziehbar, da die Schüler verglichen mit Heizung und Fensterfront die stärkste Wärmequelle darstellen.

### **6.15 Warum können kaum Standard-Komponenten aus der Lüftungstechnik benutzt werden?**

Lüftungshersteller bauen meist zentrale Anlagen bei minimierten Platzanforderungen und nutzen deswegen relativ hohe Ventilatorleistungen und Strömungsgeschwindigkeiten. Da wir aus praktischen, statischen und brandschutztechnischen Gründen minimales Gewicht, offene Bauweise, einfache Herstellbarkeit und geringe Geräuschentwicklung brauchen, haben wir Systemdrucke und -Flüsse niedrig gehalten. Bis jetzt bieten nur modifizierte Bodenventilatoren die nötigen niedrigen Leistungen an.

### **6.16 Sehen Sie Ihr System als Konkurrenz zu mobilen Raumluftfiltern oder als Ergänzung?**

Zur vom Umweltbundesamt geforderte Begrenzung der mittleren CO<sub>2</sub>-Konzentration in Klassenräumen auf circa 1000 ppm sind rechnerisch 4-5 Raumluftwechsel pro Stunde nötig. Hat man keine Lüftungsanlage und ist es zu kalt zum Dauerlüften, kann dies durch dreimaliges Stoßlüften pro Stunde erreicht werden. Kann man kein Fenster öffnen, oder sind die Fenster zu klein oder nur kippbar, ist die Nachrüstung aus unserer Sicht unumgänglich.

Da Raumluftfilter kein CO<sub>2</sub> entfernen, können sie lediglich ergänzend zum Lüften oder im absoluten Notfall betrieben werden. Die von Herstellern von Raumluftfiltern und Forschern empfohlene Installationsleistung liegt auch in dem durch 20-minütige Stoßlüftung erreichbaren Bereich. Position und Luftführung sind erheblich für ihre Wirksamkeit. Manche Forscher präferieren deswegen den Einsatz von mehreren kleinen anstelle eines großen Gerätes. Der Hauptreinigungseffekt entsteht durch das Stoßlüften, der zusätzliche Einsatz von Raumluftreinigern bringt dann typisch nur eine weitere Halbierung des Infektionsrisikos.

Unsere Anlage reduziert SARS-CoV-2, CO<sub>2</sub> und den Energieverbrauch der Schulen während der Heizperiode bei zehnfach geringeren Kosten, die noch dazu über die Heizperiode amortisiert werden. Unser System ist sicher auch nach der Pandemie nutzbringend einsetzbar.

Fazit: Raumluftreiniger sind aus unserer Sicht keine Konkurrenz, sondern lediglich eine Ergänzung zu Lüftungsanlagen oder Stoßlüftung – aber nicht umgekehrt.

## **7 Systemkomponenten**

Das System besteht aus mehreren Komponenten:

1. Fensteranschluss (Bild 8)
2. Ventilatorkasten (Bild 8)
3. Rohrverteiler (Bild 9)
4. Zentralrohrsegment (Bild 10)
5. Verbindungsrohr (Bild 10)
6. Abzugshauben mit Bogen (Bild 10)

### 7. Befestigungsmaterial, Haken, Bindedraht (Bild 13)

Als Ventilator wurde ein modifizierter Tisch- bzw. Bodenventilator (Durchmesser ca. 300 mm) genutzt und in einen Ventilatorkasten gebaut, der direkt in das Zentralrohr passt.

Die Abdichtung des Abluftfensters kann mit verschiedenen Materialien erfolgen (Bild 8). Relativ gut einsetzbar sind Abdeckungen von mobilen Klimageräten (Bild 8b).

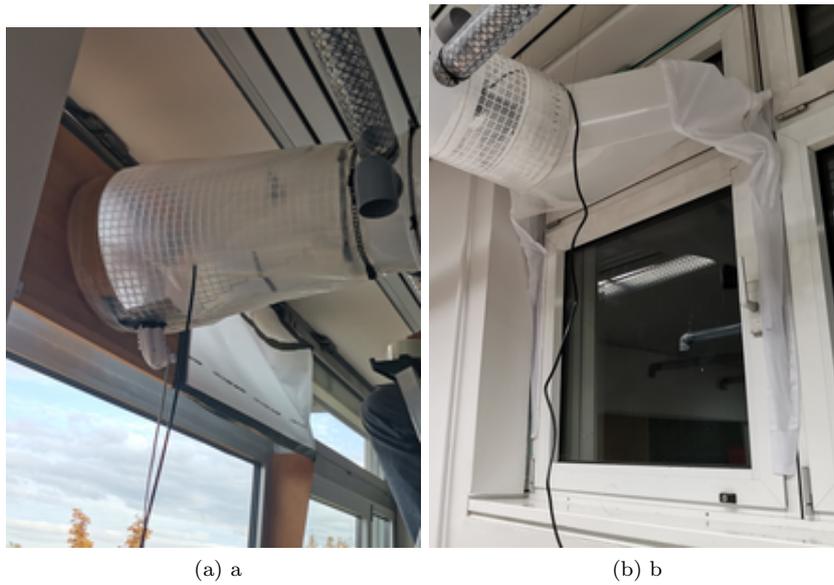


Abbildung 8: Zwei mögliche Varianten zur Fensterabdichtung: (a) Holz-Umbau und (b) Abdeckungen von mobilen Klimageräten mit Klett

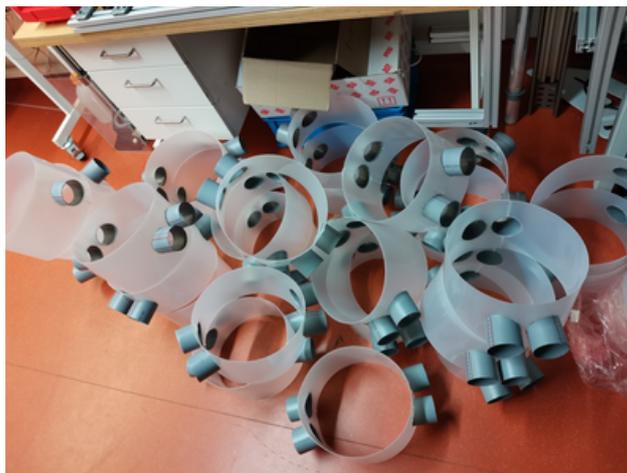


Abbildung 9: Verteiler mit HT DN 75 Rohr mit Muffe



Abbildung 10: Zentralrohr, Verbindungsrohre und Hauben

## 8 Material

Folgende Materialien haben wir bisher verwendet, ausgehend von 17 Absaugstellen im Raum und einer durchschnittlichen Absaugrohrlänge von 1.7 m sowie einer Deckenhöhe von 3.5 m. Bisher haben wir die Absaugrohre mit 75 mm Innendurchmesser aufgebaut. Um einen etwas höher Fluss bei gleicher Ventilatorleistung zu erhalten werden die nächsten Räume in der IGS-Bretzenheim mit 90 mm weiten Absaugrohren ausgestattet:

	Pro Raum		
<b>Große Rohre</b>			
Folienschlauch 500 mm 0,2 mm transparent	7,5	m	Bild 19
Stützgitter PE N903 004 Rolle: 1 m x 20 m	7,5	m	Bild 18
<b>Kleine Rohre</b>			
HT-Winkel DN 75 87° (alternativ DN 90)	17	St	Bild 22
HT-Abzweigung DN 75 87° (alternativ DN 90)	1	St	Bild 22
Stützgitter PE N902 010 Rolle: 1,2 x 100 m	28,9	m	Bild 18
- in 26 cm Streifen schneiden			
Folienschlauch 125 mm (alternativ 150 mm)	28,9	m	Bild 19
0,2 mm transparent			
<b>Hauben</b>			
Flachfolie 0,2 mm auf 2 m Rolle transparent	17	m <sup>2</sup>	Bild 17a
3 mm Edelstahl in 3 m Stäben	17	St	Bild 17a
<b>Verzweiger</b>			
Klebeband Tesa 50 m x 5 cm Glasfaser klar	5	m	
PP Platten 1,5 mm 2 x 1 m	4,6	St	
- in 181 mm Streifen schneiden			
HT DN 75 Rohr 2 m (alternativ DN 90)	1,1	m	Bild 9
- in 6,5 cm Stücke schneiden			
Schweißdraht 4 mm PP	0,03	kg	Bild 21
<b>Befestigungsmaterial</b>			
Kabelbinder Soft-Tie (26cm lang)	66	St	Bild 20
Eisendraht verzinkt	15,4	m	Bild 13
Draht clipse (Federdraht)	6	m	Bild 13
<b>Ventilator+Box</b>			
PE/PP Platte 2 mm 2 x 1 m	0,5	St	
Lüfter: Tisch/Bodenventilator 30 cm	1	St	
Fensterabdichtung	1	St	Bild 8
Schweißdraht 4 mm PE	0,07	kg	Bild 21

## 9 Werkzeuge

### 9.1 Das Verteiler-Schweißgerät

Hierbei handelt es sich um ein selbst hergestelltes Drehteil, das mit Heizkartuschen betrieben wird. Man benötigt es, um die Verteiler zu bauen (Bild 11). Es hat zwei Funktionen:

1. das Durchgangsloch herstellen

2. das Rohrstück anschweißen



Abbildung 11: Verteiler-Schweißgerät (Spezialwerkzeug selbstgefertigt)

## 9.2 Schere/Blechscher

für Gittermaterial, Flachmaterial und Flanschstücke

## 9.3 Kunststoff-Schweißgerät

z.B. Heißluftgebläse mit Schweißschuh (rechts im Bild 12)

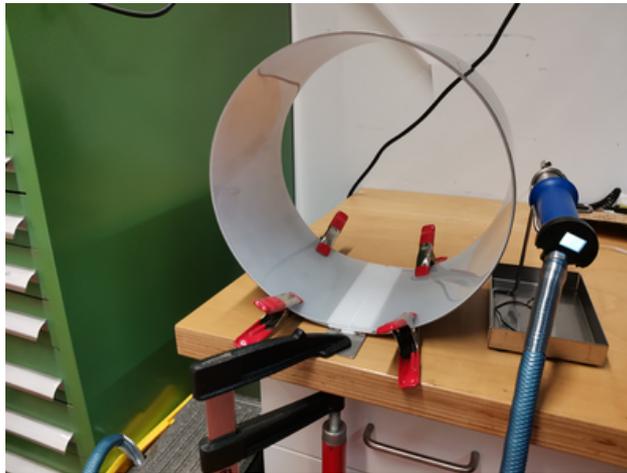


Abbildung 12: Platte zusammenführen und mit Klammern fixieren. Rechts im Bild: Heißluftgebläse mit Schweißschuh.

## 10 Arbeitsschritte

### 10.1 Fenster aussuchen

Mittig im Raum und kippbar. Alternativ: Oberlicht, bei dem die Scheibe ausgebaut werden kann.

### 10.2 Raum ausmessen

Die Tische stehen idealerweise in einem regelmäßigen Raster. Dies hilft der Übersicht, beim Aufbau und gewährleistet zudem die geforderten 1.5 m Abstand. Schnur spannen oder anderen Anhaltspunkt für die Mittellinie des Zentralrohrs suchen. Position der Verteiler festlegen. Pro Verteiler können 4 Einzelrohre angeschlossen werden. Abstand der besetzten Tischkantenmitten zu den entsprechenden Verteilern messen. In der Fertigung müssen dann

- die Zentralrohrsegmente 8 cm kürzer sein als die Punkt-zu-Punkt-Messung.
- die Einzelrohre 21 cm kürzer sein als die Punkt-zu-Punkt-Messung.

### 10.3 Materialien besorgen

- Gittermatten und Schlauchfolie im Verpackungszubehörhandel
- Kunststoffplatten im Baumarkt/Großhandel
- Draht und HT-Abflussrohr im Baumarkt

### 10.4 Befestigung an der Decke

Wegen des geringen Gewichts kann die Anlage an bestehende abgehängte Decken montiert werden. Die günstigste Variante ist, aus 1.5 mm Federstahldraht pas-



(a) a



(b) b

Abbildung 13: Zur Befestigung an der Decke: (a) Aus 1.5 mm Federstahldraht gebogene Haken/Ösen zur Befestigung an der Decke und (b) Eisendraht verzinkt

sende Haken/Ösen zu biegen (Bild 13a). Einschraubhaken oder spezielle Halter funktionieren auch bzw. sind bei Betondecken nötig.

## 10.5 Verteiler

Die Verteiler sind das komplizierteste Stück der Anlage. Derzeit gibt es Gespräche mit Herstellern, diese auf Grund des großen Interesses in Serie fertigen zu lassen. Solange es die Teile jedoch noch nicht zu kaufen gibt bzw. wenn Lust und Zeit zum Basteln besteht, hier unsere Vorgehensweise.

1. Flachmaterial schneiden: 181 mm x 1000 mm  
Das klappt am Besten auf einer großen Schlagschere, funktioniert bei einer begrenzten Stückzahl aber auch mit einer Handschere.
2. Je einen Streifen zu einem großen Rohrstück zusammenschweißen:
  - die zugeschnittene Platte in einem Bogen zusammenführen, bis zwischen den kurzen Seiten ein etwa 2 mm großer Spalt entsteht (Bild 12)
  - die kurzen Seiten mit Klammern fixieren. Wir haben uns hierzu eine Hilfe aus Edelstahlblech gebaut (Bild 12), die die Form vorgibt und an der die Enden fixiert werden können. Es sollte auch funktionieren, wenn man die beiden kurzen Enden im richtigen Abstand auf einer Holzplatte festklemmt.
  - ein ca. 20 cm langes Stück vom Schweißdraht abschneiden
  - das Schweißgerät auf ca. 270°C einstellen und nach Erreichen der Temperatur das Schweißdrahtstück einführen, kurz warten bis es weich wird, und dann das Gerät langsam unter Druck über den Spalt führen.
  - Abkühlen lassen und anschließend die Fixierung lösen
  - Überstehende Reste des Schweißdrahts abknipsen/-schneiden

3. Anschweißstücke schneiden (Bild 14)

Ziel ist es, den benötigten konkaven Anschnitt an ein kleines Rohrstück zu bekommen, der ein formschlüssiges Anschweißen an das zuvor hergestellte große Rohrstück ermöglicht. Sehr gut geht das mit einer Bandsäge, ist aber auch mit einer Hand- oder Blechschere möglich. Eine Schnittschablone zum Ausdrucken, die zum Anzeichnen um das Rohr gelegt werden, findet sich im Anhang. Das Vorgehen mit Bandsäge wäre wie folgt:

- relativ zur Drehachse einer Bandsäge eine Drehachse anbringen. Die Drehachse sollte senkrecht zu Schneidrichtung ca. 16 cm versetzt und entgegen der Schneidrichtung um ca. 5 cm versetzt sein. Die Achse könnte z.B. ein Rohrstück oder Rundstab sein, der in ein dickes Brett gesteckt wird.
- in ein kurzes HT-PP-Rohr bei der 11,5 cm-Marke ein Loch entsprechend dem Durchmesser der Drehachse bohren und auf die Drehachse setzen.
- nun kann ein langes HT-PP-Rohr relativ zügig in die benötigten Anschweißstücke gesägt werden. Dabei sollte das Sägeblatt nicht zu breit sein; mit einem 6 mm breiten hat in unseren Aufbauten gut funktioniert.

4. 4 x Loch schmelzen und Flansch anschweißen (Bild 14)

5. Verteiler mit Flachmaterial abschließen (pro Raum 1x)

Dazu eine Scheibe mit 309 mm Durchmesser ausschneiden und einschweißen (Bild 15). Der verbleibende Rand kann als Flachflansch für den Ventilator-Ring verwendet werden.



Abbildung 14: Loch schmelzen und Flansch anschweißen



Abbildung 15: Scheibe als Abschluss ausschneiden und später anschweißen

## 10.6 Zentralrohr-Segmente

1. Gitter auf richtige Länge abschneiden
2. Schlauch je Seite etwa 5 cm länger abschneiden
3. Gitter zusammenrollen und in Schlauch schieben, dabei alle ca. 15 cm die beiden Kanten gegeneinander abstützen (Bild 16)
4. schließlich die passenden Verteiler einschieben. Montiert werden nachher die äußeren Segmente zuerst.

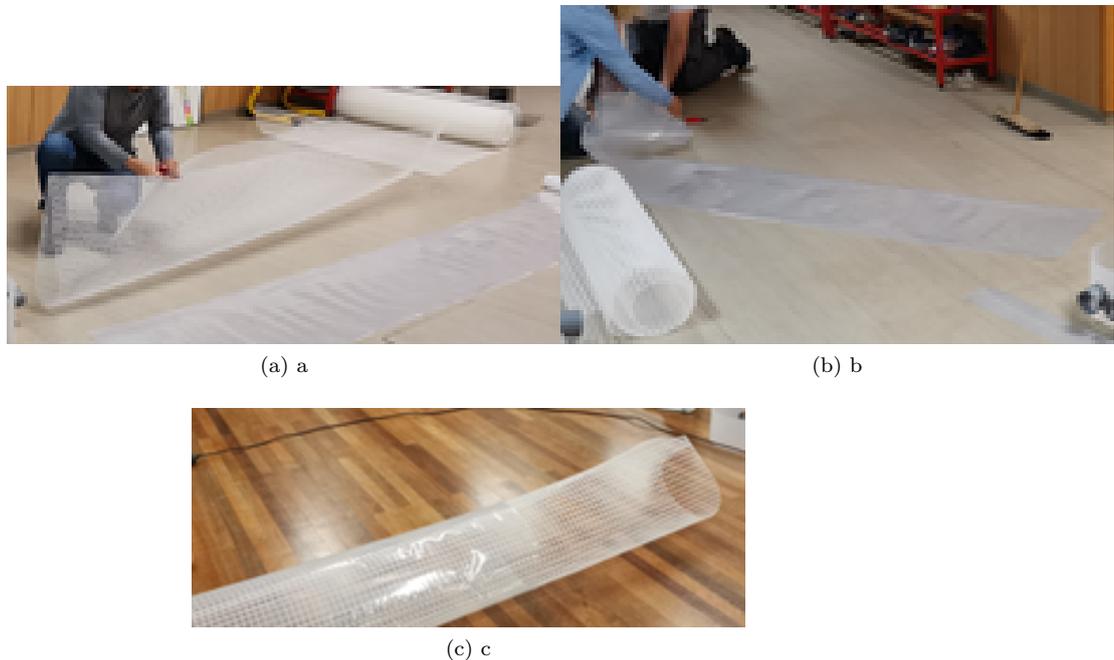


Abbildung 16: (a) Gitter auf richtige Länge abschneiden, zusammenrollen und verweben, (b)(c) Gitter in Schlauch schieben

## 10.7 Absaugrohre

1. Gitter auf richtige Länge abschneiden (Bild 18a)
2. Schlauch je Seite etwa 5 cm länger abschneiden
3. Gitter zusammenrollen und in Schlauch schieben, dabei ineinander weben zwecks guter Stabilität (s. Zentralrohr)
4. Zum Abschluss an einer Seite einen HT-PP-Winkel mit Haube aufsetzen und einen passenden Draht (siehe 10.9) um den Winkel legen und leicht verdrillen.

## 10.8 Hauben

Die Hauben fangen den warmen Abluftstrom ein und leiten ihn Richtung Absaugrohr. Wichtig ist, dass die Haube schlussendlich einigermaßen waagrecht hängt.

1. Die 3 m Edelstahlstäbe zu Ringen verschweißen, um einen ca. 90-95 cm durchmessenden Reif zu erhalten (Bild 17a).
2. 1 m x 1 m Stücke aus der Flachfolie schneiden (Bild 17a)
3. mittig unter die Folie ein kleines Glas oder ähnliches (Höhe ca 8 cm) stellen (Bild 17a)

4. Metallreif auf die Folie legen und mit einem Folienmarker die Kontur des Metallreifs auf die Folie übertragen (Bild 17a)
5. Metallreif und Glas entfernen und in 4-5 cm Abstand zur Markierung rundherum ausschneiden (Bild 17b).
6. Alle ca. 15 cm einen Schnitt Richtung Mitte bis zur Makierungslinie machen (Bild 17b).
7. Reif wieder auflegen, dann umlaufend die eingeschnittenen Segmente der Folie wieder bis zur Makierung umschlagen und festtackern (Bild 17c)
8. !!!Wichtig!!!! Schwerpunkt bestimmen (Bild 17d) und drumherum ein Loch mit Durchmesser 50 mm-60 mm schneiden (Bild 17e)
9. Vorsichtig die Folie über ein HT-PP-Winkel-Rohrstück schieben (Bild 17f).



(a) a

(b) b



(c) c



(d) d



(e) e



(f) f

Abbildung 17: (a) Flachfolie und Metallreif mit Schweißnaht für Haube + kleines Glas in Mitte, (b) Metallreif markieren  $\perp$  rund ausschneiden + Schnitt quer zur Markierung, (c) Segmente um Metallreif tackern, (d) Schwerpunkt der Haube suchen und markieren, (e) Loch aus Mitte schneiden und (f) Rohrstück durch die Mitte schieben.

## 10.9 Draht zuschneiden

Vor dem Aufhängen die Clips an den richtigen Punkten an der Decke befestigen und den Eisendraht zuschneiden.

- Das Zentralrohr sollte ca in 2,3 m bis 2,5 m Höhe hängen. Wir haben je Verteiler einen Draht genutzt. Die nötige Drahtlänge ergibt sich zu etwa:  $2 \times (\text{Deckenhöhe} - 2,5 \text{ m}) + 106 \text{ cm}$ . Das Drahtstück wird an beiden Enden um ca 3 cm zu einem einfachen Haken umgebogen. Beim Aufhängen wird eine Seite des Drahts in die entsprechende Deckenbefestigung eingehängt, unten um einen Verteiler herumgeführt, und dann auch das zweite Ende in die Deckenbefestigung eingehängt.
- Die Unterkanten der Hauben sollten möglichst nah über den Personen hängen, ohne diese beim Aufstehen oder im Alltag zu behindern. In den Schulen haben wir eine Höhe der Haubenunterkante von etwa 2,0 m angepeilt. Die Hauben mit Winkelstück haben selbst eine Höhe von ca. 20 cm und es werden wieder 3 cm an jedem Ende als Haken benötigt. So ergibt sich die Drahtlänge von Deckenhöhe - 1,9 m.

## 10.10 Aufhängen

Es hat sich als vorteilhaft herausgestellt zunächst die Teile des Zentralrohrs von außen nach innen aufzuhängen, anschließend die Mittelsegmente einzusetzen und dann die Absaugrohre anzubringen. Nicht genutzte Öffnungen an den Verteilern müssen verschlossen werden.

## 10.11 Lüfter

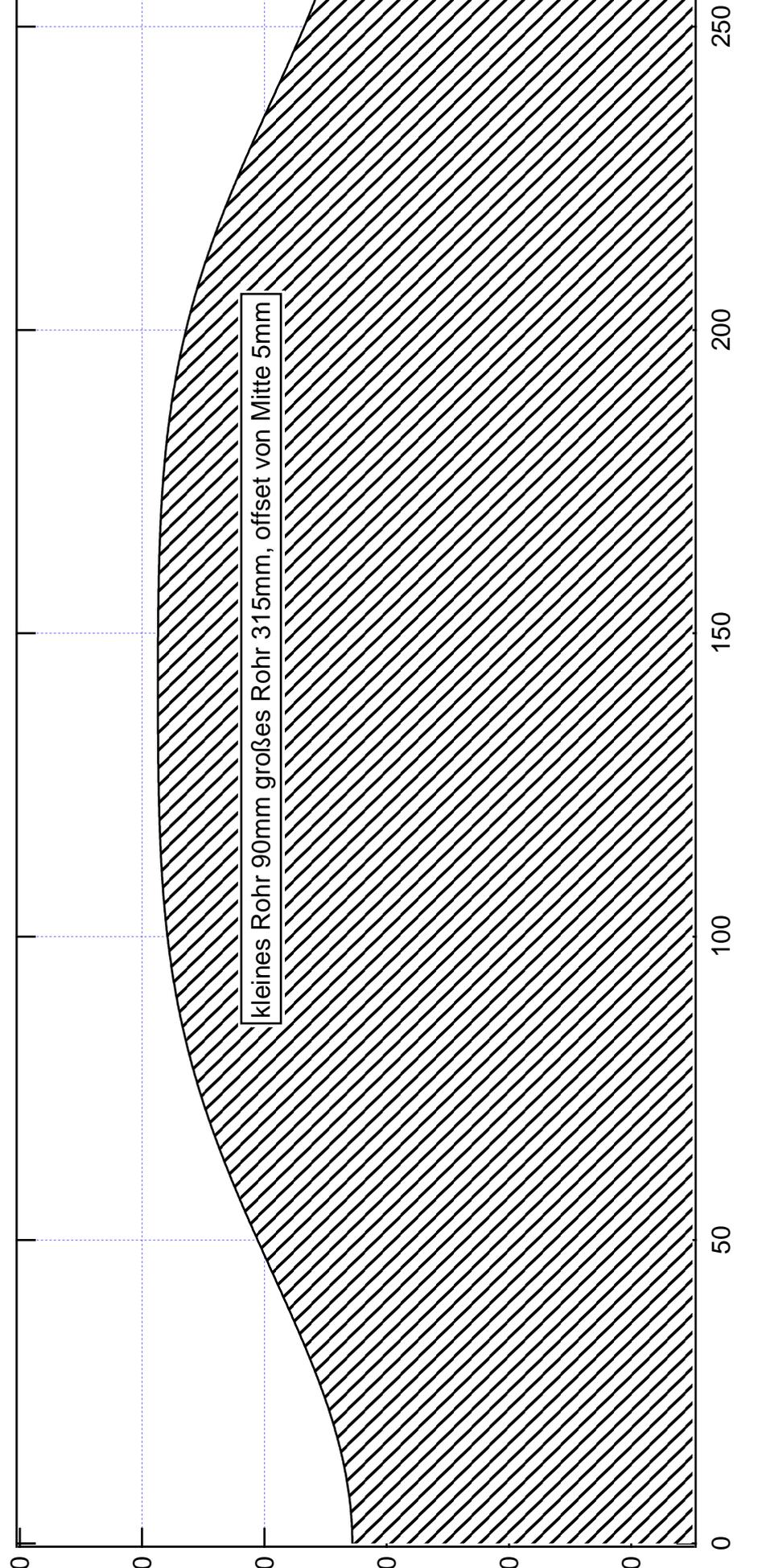
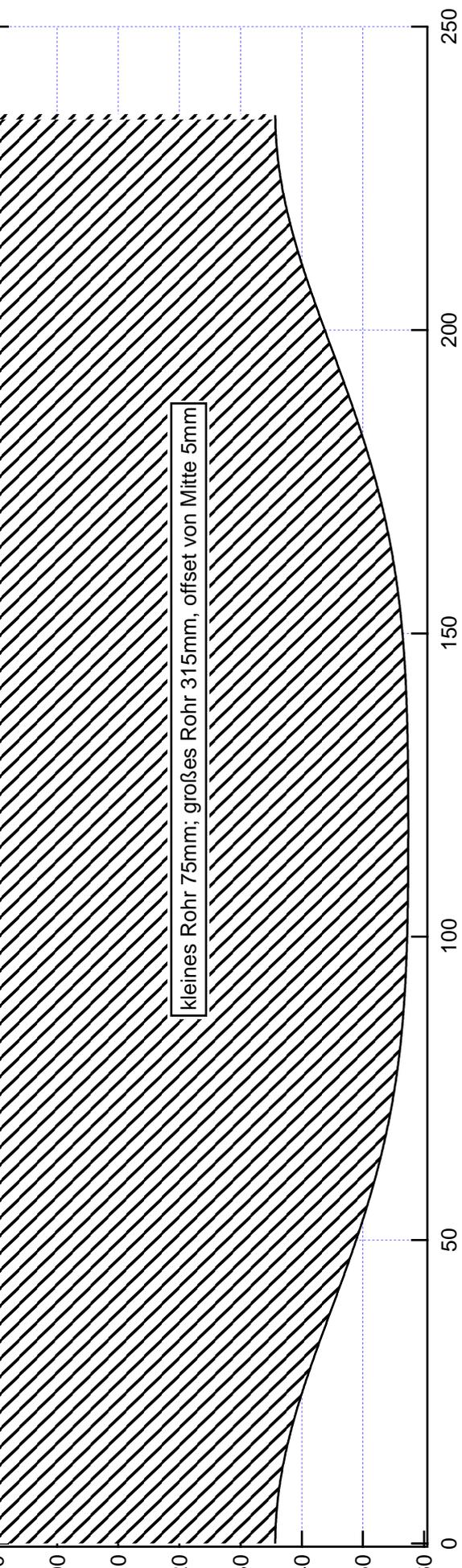
**!!!ACHTUNG Änderungen an elektrischen Geräten nur bei eigener Eignung und nach Absprache mit den verantwortlichen Personen durchführen!!!**

Bei Lüftern gibt es viele Alternativen. Wir haben uns für einen einfachen Tischventilator (Tristar ve-5953) aus Metall entschieden, der 30 cm Durchmesser hat und in 3 Stufen laufen kann. Um den Ventilator verwenden zu können muss er wie folgt modifiziert werden. Alternativ gibt es auch Axial-Rohr-Ventilatoren, die direkt in das Zentralrohr passen, aber noch eine Drehzahlregelung benötigen.

1. Motor vom Standfuß nehmen
2. Gitter auf richtigen Durchmesser abflexen
3. Flachmaterial schneiden 181 mm x 1000 mm
4. zu Rohrstück zusammenschweißen
5. Motor mit Kabelbinder an Rohrstück befestigen
6. vor dem Einbau ins Rohr auf Stufe 1 oder 2 stellen.

## 10.12 Fensteranschluss

Der Fensteranschluss ist sehr individuell. Am einfachsten ist es, von einer geeigneten Person eine Glasscheibe auf der richtigen Höhe durch ein Brett ersetzen zu lassen, sodass der Ventilator relativ ungehindert nach außen pusten kann. Andere Möglichkeiten sind die Benutzung von Fensterdichtungen, wie sie für mobile Klimageräte vertrieben werden, oder der Bau einer Kiste vor dem Fenster ( siehe Bild 8)





(a) a



(b) b

Abbildung 18: (a) Stützgitter PE N902 zuschneiden in 26 cm Streifen und (b) Stützgitter PE N903



(a) a



(b) b

Abbildung 19: (a) Folienschlauch 500 mm 0,2 mm für große Rohre und (b) Folienschlauch 125 mm 0,2 mm für kleine Rohre

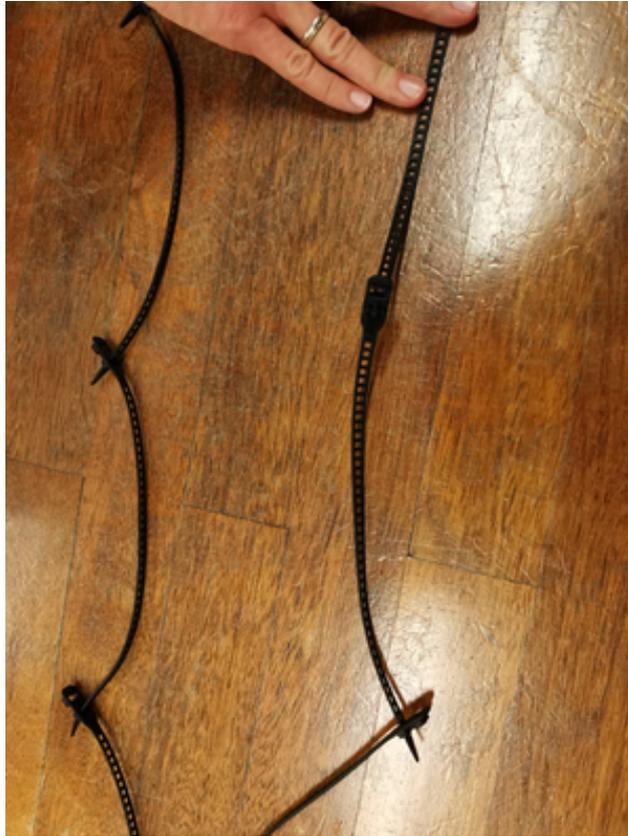


Abbildung 20: Kabelbinder zur Befestigung



Abbildung 21: Schweißdraht für Verteiler

# Low-Cost-Abluftanlage

## Projektstudie des Max-Planck-Institutes für Chemie in Mainz in Zusammenarbeit mit der Integrierten Gesamtschule Mainz-Bretzenheim

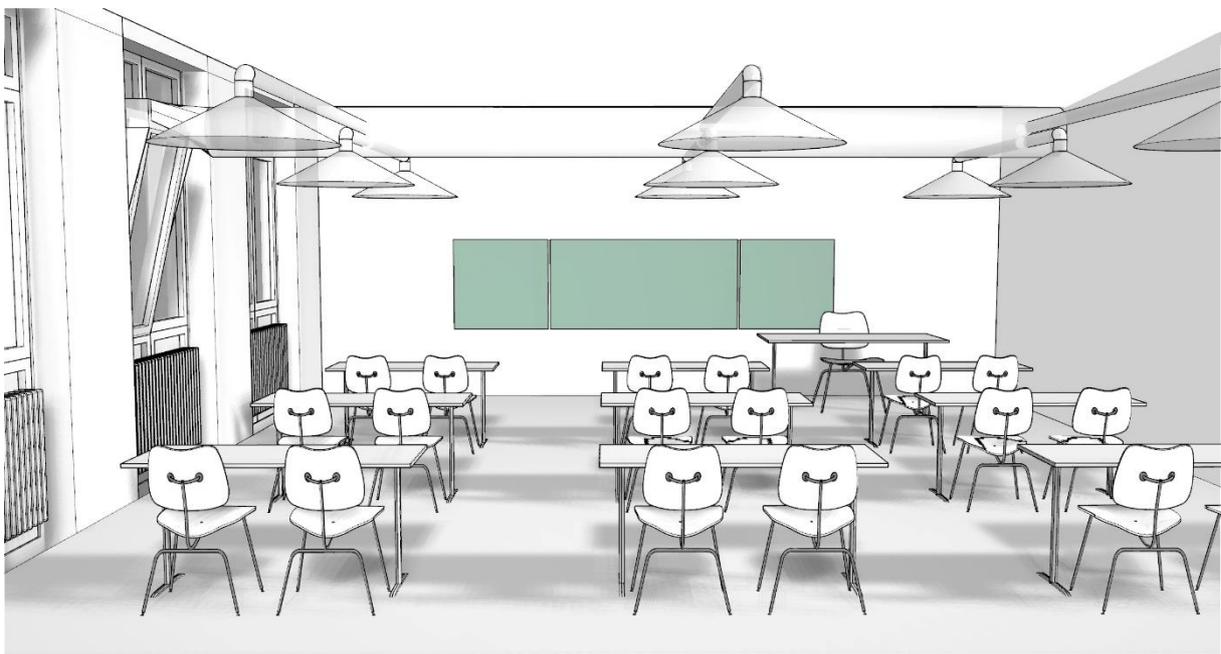
**Antrieb:** Schule in der Coronapandemie - Infektionsschutz

**Idee:** Ausnutzung der durch eine Person hervorgerufenen natürlichen Konvektion mit einem Abzug direkt über der Person.

**Ziel:** möglichst große effektive Wechselrate direkt bei den Personen bei geringer nomineller Wechselrate der gesamten Raumluft

### Vorteile im Überblick:

- **Ausnutzung der Konvektion (warme Luft steigt über Personen mit deren Aerosolen nach oben)**
- **Abtransport von ca. 90% der Aerosole durch einen kontinuierlichen Abzug direkt über der Person**
- **CO<sub>2</sub>-Reduzierung** in den Klassenräumen – somit auch nach der Pandemie sinnvoll einsetzbar
- Niedriger Geräuschpegel
- deutliche **Reduzierung des Wärmeverlustes** gegenüber Stoßlüften alle 20 min.
- **geringste Anschaffungskosten** (weniger als 200 € Materialkosten pro Raum)
- **geringste Betriebskosten** (Strom für Ventilator vs. Energieersparnis bei Heizkosten)
- Niedrige Anforderungen: Steckdose und kippbares Fenster/Oberlicht
- Keine Umbaumaßnahmen an Fassade etc. notwendig
- Minimale Verdunkelung durch transparente bzw. helle Bauteile
- Individuelle und einfache Bedienung
- Das modulare System ist vielfältig anpassbar. Die entsprechende Umsetzung an einer Grundschule (Brunnenschule Marienborn) und einer Sportstätte (Turnabteilung der TSG 1846 Bretzenheim) ist bereits in Planung.



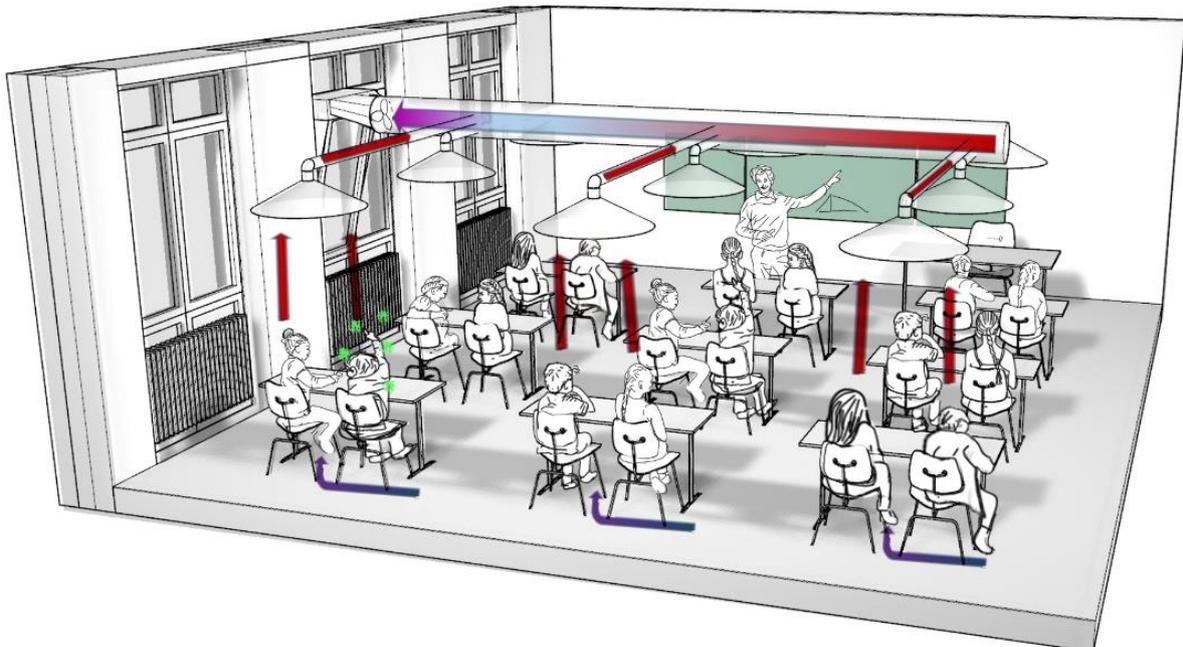
## Luftströmungen und Aerosole in geschlossenen Räumen ohne Lüftung

Menschen stoßen Aerosole aus, die pathogene Keime, wie z.B. den Sars-COV-2 enthalten können. Große Tropfen fallen recht bald zu Boden, die kleinen Aerosole sind jedoch so leicht, dass sie über Stunden in der Luft verweilen können und sich durch Turbulenzen innerhalb weniger Minuten im gesamten Raum verteilen.

### Abluftsystem des MPI für Chemie Mainz (Dr. F. Helleis):

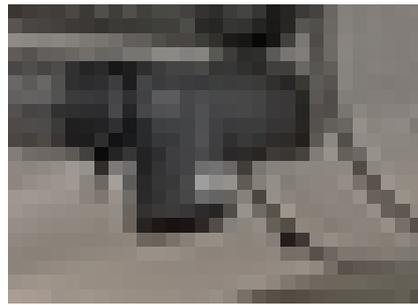
Menschen sind insbesondere im Winter wärmer als die sie umgebende Luft im Raum. Daher kommt es zu sogenannten konvektiven, d.h. aufwärtsgerichteten Strömungen in der Raumluft, die die Aerosole mit potentiell infektiösen Viren mit nach oben tragen. Bei der neuen Anlage, werden diese, ähnlich wie bei einer Dunstabzugshaube, direkt oberhalb der Schüler aufgenommen und nach draußen geleitet. Für den Transport wird ein Ventilator genutzt, der die Abluft über ein gekipptes Fenster nach draußen bringt. Dementsprechend sieht das System eine eigene „Abzugshaube“ für jeden Tisch vor. Diese Haube sorgt für ein zielgerichtetes „Einsammeln“ der Aerosole. Die Frischluftzufuhr kann beispielsweise über ein leicht geöffnetes bzw. gekipptes Fenster erfolgen.

In der Regel wird die Effektivität des Lüftens bzw. der Lüftungsanlagen über die **nominelle Raumluftwechselrate** angegeben, also wie oft die gesamte Luft des Raums in einer Stunde ausgetauscht wird. Findet keine Wärmerückgewinnung statt, so bedeutet eine höhere Raumluftwechselrate jedoch auch einen stärkeren Wärmeverlust bzw. höhere Heizkosten. Das Ziel ist es nicht viel Raumluft gegen Frischluft zu tauschen (wie eine konventionelle Lüftung), sondern die potenziell kontaminierte Abluft der Personen zielgerichtet und damit effektiv zu entfernen. Bei Messungen konnte gezeigt werden, dass mit solch einem Abluftsystem bei einer nominellen Wechselrate, die einem stündlichen Stoßlüften entspricht, bereits ca. 77 % ohne Haube und mit Haube sogar über **90 % der Aerosole kontinuierlich entfernt werden**.





(a) a



(b) b

Abbildung 22: (a) HT-Winkel DN 75 87° und (b) HT-Abzweigung DN 75 87°